

PAT-NO: JP02005011989A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2005011989 A  
TITLE: OPTICAL AMPLIFIER  
PUBN-DATE: January 13, 2005

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
KUROSAWA, YOKO	N/A
TAGA, HIDENORI	N/A
GOTO, KOJI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
KDDI SUBMARINE CABLE SYSTEMS INC	N/A
MITSUBISHI ELECTRIC CORP	N/A

APPL-NO: JP2003174508

APPL-DATE: June 19, 2003

INT-CL (IPC): H01S003/094, G02F001/35 , H01S003/06 , H01S003/10

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high gain optical amplifier suppressing a microscopic oscillation.

SOLUTION: An optical circulator 14 is connected between an optical fiber 12 for transmission and an erbium doped optical amplifier fiber (EDF) 16. A fiber Bragg grating (FBG) 28 for selectively reflecting an excitation light is connected to a port C of the circulator 14. The circulator 14 lets a signal light in through from the fiber 12 to the EDF 16. The excitation light outputted from laser diodes 22, 24 enter into the EDF 16 through an optical coupler 26 and an optical circulator 18. The excitation light not

absorbed by  
the EDF 16 and a part of an ASE light generated from the EDF 16 enter  
into the  
FBG 28 by the circulator 14. The excitation light reflected by the  
FBG 28  
enters into the fiber 12 through the circulator 14 to generate the  
Raman  
amplification at the fiber 12.

COPYRIGHT: (C) 2005, JPO&NCIPI

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-11989

(P2005-11989A)

(43) 公開日 平成17年1月13日(2005.1.13)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F 1	テーマコード (参考)
H 01 S 3/094	H 01 S 3/094 S	2 K 002
G 02 F 1/35	G 02 F 1/35 5 O 1	5 F 072
H 01 S 3/06	H 01 S 3/06 B	
H 01 S 3/10	H 01 S 3/10 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2003-174508 (P2003-174508)  
 (22) 出願日 平成15年6月19日 (2003.6.19)

(71) 出願人 595162345  
 ケイアイアイ海底ケーブルシステム株式会社  
 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号  
 (71) 出願人 000006013  
 三菱電機株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号  
 (74) 代理人 100090284  
 弁理士 田中 常雄  
 (72) 発明者 黒澤 葉子  
 東京都新宿区西新宿三丁目7番1号ケイアイアイ海底ケーブルシステム株式会社内

最終頁に続く

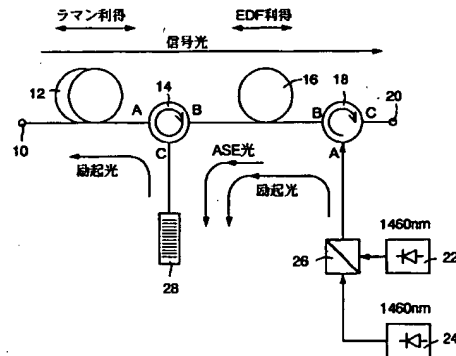
(54) 【発明の名称】 光増幅器

## (57) 【要約】

【課題】 微細な発振を抑制する。

【解決手段】 伝送用光ファイバ12とエルビウムドープ光増幅ファイバ (FDF) 16との間に光サーキュレータ14を接続する。光サーキュレータ14のポートCに励起光を選択的に反射するファイバブラッググレーティング (FBG) 28を接続する。光サーキュレータ14は、伝送用光ファイバ12からEDF16に信号光を通す。レーザダイオード22、24から出力される励起光は、光カップラ26及び光サーキュレータ18を介してEDF16に入力する。EDF16で吸収されなかった励起光とEDF16で発生したASE光の一部は、光サーキュレータ14によりFBG28に入射する。FBG28で反射された励起光は、光サーキュレータ14を介して伝送用光ファイバ12に入力し、ファイバ12でラマン増幅を生じさせる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ラマン増幅媒体 (12) と、  
希土類ドープ光増幅ファイバ (16) と、  
当該ラマン増幅媒体 (12) 及び当該希土類ドープ光増幅ファイバ (16) を励起する励起波長の励起光を発生する励起光源 (22, 24, 26) と、  
当該励起光源 (22, 24, 26) から出力される励起光を当該希土類ドープ光増幅ファイバ (16) に後方から供給する光結合器 (18) と、  
当該励起波長の光を選択的に反射する反射器 (28) と、  
当該ラマン増幅媒体 (12) と当該希土類ドープ光増幅ファイバ (16) との間に配置される光サーキュレータ (14) であって、当該ラマン増幅媒体 (12) から出力される信号光を当該希土類ドープ光増幅ファイバ (16) に転送し、当該希土類ドープ光ファイバ (16) からの励起光及び ASE 光を当該反射器 (28) に転送し、当該反射器 (28) で反射された励起光を当該ラマン増幅媒体 (12) に転送する光サーキュレータ  
とを具備することを特徴とする光増幅器。

## 【請求項 2】

当該反射器が、ファイバブラッググレーティング (28) からなる請求項 1 に記載の光増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、シリアルに接続されるラマン増幅媒体と希土類ドープ光増幅ファイバを有する光増幅器に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

長距離の光ファイバ伝送では、伝送用光ファイバの間に光中継増幅器を配置する光増幅中継伝送システムが使用される。光中継増幅器は、エルビウムを添加した光増幅ファイバ (EDF) と、当該光増幅ファイバのエルビウムイオンを励起する励起光源とを有するエルビウムドープファイバ増幅器 (EDFA) からなる。エルビウム以外の希土類元素をドープした光ファイバも、一般的には、光増幅ファイバとして使用可能である。

## 【0003】

また、伝送用光ファイバでラマン増幅を生じさせ、信号光を増幅する光増幅中継伝送システムも知られている。

## 【0004】

増幅帯域の異なる光増幅器をシリアルに接続することにより、広帯域の光増幅を実現できる。また、同じ増幅帯域の複数の光増幅器をシリアルに接続することにより、全体として高い利得を実現できる。

## 【0005】

光増幅器を多段接続する構成は、米国特許第 6396623 号公報、米国特許第 6424457 号公報、及び米国特許第 6456426 号公報に記載されている。特に、米国特許第 6396623 号公報には、ラマン増幅器と EDFA をシリアルに接続する構成が記載されている。

## 【0006】

高利得の光ファイバ増幅器では、光ファイバ増幅器への入力パワーレベルが低い場合に、利得圧縮効果により利得が増加する。EDF で発生する ASE 光が前段又は後段の伝送用光ファイバで後方レイリー散乱されて、EDF に再入射する。

## 【0007】

特に、伝送用光ファイバをラマン増幅器として動作させ、その後段に EDFA を配置する光増幅構成では、次のような問題がある。即ち、EDF で発生する ASE 光の一部が、ラマン増幅を起こす伝送用光ファイバに入射し、そこで増幅及び後方レイリー散乱されて、

EDFに再入射する。EDFに再入射したASE光は、EDF内での後方レイリー散乱により、伝送用光ファイバ（ラマン増幅媒体）に再入射する。このようなプロセスにおいて、伝送用光ファイバ及びEDFでの後方レイリー散乱効果による反射減衰量（入射光と反射光のパワー比）よりもEDFの利得が大きければ、伝送用光ファイバとEDFにより共振器が形成され、その共振器による発振現象が生じ得る。

#### 【0008】

図2は、ラマン増幅器とEDFAをシリアルに配置した場合の出力スペクトル例を示す。横軸は波長を示し、縦軸は光強度を示す。細かな発振があることが分かる。

#### 【0009】

EDFAの前段に光アイソレータを配置することで、この発振現象を抑制できることが知られている。また、雑音指数を改善できることも知られている。例えば、P. B. Hansen et al., "High sensitivity 1.3  $\mu$ m optically preamplified receiver using raman amplification", Electronics Letters, vol. 32, pp. 2164 - 2165 (1996)を参照。

#### 【0010】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ラマン増幅器とEDFAをシリアルに接続する場合、米国特許第6396623号公報に記載の構成では、ラマン増幅の励起光源と、EDFの励起光源を別々に用意している。しかし、単一の励起光源で伝送用光ファイバを励起してラマン増幅を生じさせると共に、EDFを励起すれば、コストを低減できる。

#### 【0011】

発振現象を抑制するために、ラマン増幅器とEDFの間に、EDFで生じる反射光及び散乱光等の、信号光とは逆方向に伝搬する戻り光を抑制する光アイソレータを設ける必要がある。そのような光アイソレータは、励起光も遮断してしまい、1つの励起光源をEDFとラマン増幅に共用できなくなってしまう。

#### 【0012】

米国特許第6424457号公報には、後方の光ファイバ増幅器からのASE光を遮断する光アイソレータをバイパスするバイパス路を設け、そのバイパス路で後方のEDFAに対する励起光をバイパスする構成が記載されている。

#### 【0013】

ラマン増幅器とEDFの間に置かれる光アイソレータの入力側と出力側にWDM（波長分割多重）光カップラを配置して、励起光が光アイソレータをバイパスできるようにすれば、励起光源を共用可能になる。しかし、この構成では、信号光は、光アイソレータの入力側及び出力側のWDM光カップラ並びに光アイソレータを通過し、励起光は、光アイソレータの入力側及び出力側のWDM光カップラを通過する。信号光は3つの光デバイスを通過し、励起光は2つの光デバイスを通過するので、どちらにとっても、挿入損失が大きくなってしまう。

#### 【0014】

別の解決法として、特定の波長又は波長帯について逆方向の透過を許容する光アイソレータを使用することが考えられる。しかし、この構成では、励起光の波長を後から変更できなくなり、制約が強すぎる。

#### 【0015】

本発明は、シリアル接続したラマン増幅媒体と希土類ドープ光増幅ファイバを有する、より発振しにくい光増幅器を提案することを目的とする。

#### 【0016】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明に係る光増幅器は、ラマン増幅媒体と、希土類ドープ光増幅ファイバと、当該ラマン増幅媒体及び当該希土類ドープ光増幅ファイバを励起する励起波長の励起光を発生する励起光源と、当該励起光源から出力される励起光を当該希土類ドープ光増幅ファイバに後

方から供給する光結合器と、当該励起波長の光を選択的に反射する反射器と、当該ラマン増幅媒体と当該希土類ドープ光増幅ファイバとの間に配置される光サーキュレータであって、当該ラマン増幅媒体から出力される信号光を当該希土類ドープ光増幅ファイバに転送し、当該希土類ドープ光ファイバからの励起光及びASE光を当該反射器に転送し、当該反射器で反射された励起光を当該ラマン増幅媒体に転送する光サーキュレータとを具備することを特徴とする。

【0017】

好ましくは、当該反射器が、ファイバブラッググレーティングからなる。

【0018】

【実施例】

以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0019】

図1は、本発明の一実施例の概略構成ブロック図である。入力端子10には、図示しない光送信器から信号光S（波長 $\lambda_s$ ）が入力する。波長 $\lambda_s$ は、例えば、1550nm帯である。信号光Sは、入力端子10から伝送用光ファイバ12に入力する。伝送用光ファイバ12は、後述するようにラマン増幅媒体として機能し、信号光Sを増幅する。

【0020】

伝送用光ファイバ12を伝搬した信号光は、光サーキュレータ14のポートAに入力し、ポートBからエルビウム添加光ファイバ（EDF）16に入力する。光サーキュレータ14は、ポートAの入力光をポートBから出力し、ポートBの入力光をポートCから出力し、ポートCの入力光をポートAから出力する光デバイスである。

【0021】

EDF16は信号光Sを増幅する。EDF16により増幅された信号光Sは、光サーキュレータ18のポートBに入力し、ポートCから出力される。光サーキュレータ18は、ポートAの入力光をポートBから出力し、ポートBの入力光をポートCから出力する光デバイスである。光サーキュレータ18のポートCから出力された増幅された信号光は、出力端子20から、図示しない伝送用光ファイバ又は光受信装置に供給される。

【0022】

ラマン増幅は、原理的に、励起光の波長よりも約100nm長い波長で利得を有するので、光ファイバ増幅器の励起光として使用できる波長帯の中で、信号波長よりも約100nmだけ短い波長を採用すれば良い。1550nm帯の信号光に対しては、例えば、励起光の波長として1460nmを採用する。

【0023】

レーザダイオード22、24は1460nm帯でレーザ発振する。光カップラ26は、レーザダイオード22、24の出力光を合波し、合波光を励起光として光サーキュレータ18のポートAに印加する。光カップラ26が、単純にレーザダイオード22、24の出力光を合波する光素子である場合、干渉を避けるため、レーザダイオード22、24のレーザ発振波長を僅かに異ならせる。光カップラ26が、レーザダイオード22、24の出力光を互いに直交する偏波で合波する偏光ビームスプリッタである場合、レーザダイオード22、24のレーザ発振波長は同じであっても良い。レーザダイオード22、24及び光カップラ26が、励起光源を構成する。この励起光源から出力される励起光の波長を $\lambda_p$ とする。

【0024】

光サーキュレータ18は、ポートAに入力する励起光をポートBからEDF16に向けて出力する。EDF16は、光サーキュレータ18のポートBからの励起光により励起されて、上述したように、信号光Sを増幅する。その際、EDF16は、ASE光を発生する。EDF16で発生したASE光の半分は、統計的に信号光Sとは逆方向に伝搬する。

【0025】

EDF16で吸収しきれなかった励起光と、EDF16で発生し信号光Sとは逆方向に伝搬するASE光は、光サーキュレータ14のポートBに入力し、ポートCから出力される

。光サーキュレータ14のポートCには、励起光の波長 $\lambda_p$ を選択的に反射し、その他の光、特にEDF16で発生するASE光を吸収するファイバブラッググレーティング(FBG)28が接続する。FBG28は、光サーキュレータ14のポートCからの光(励起光と、EDF16で発生するASE光)の内、励起光のみを反射し、残りを吸収する。

【0026】

FBG28で反射された励起光は、光サーキュレータ14のポートCに再入射し、ポートAから出力される。光サーキュレータ14のポートCから出力される励起光は、伝送用光ファイバ12に入力し、伝送用光ファイバ12でラマン増幅を生じさせる。このラマン増幅により、信号光Sは先に説明したように光増幅される。

【0027】

本実施例では、信号光は、ラマン増幅媒体となる伝送用光ファイバ12とEDF16との間で光サーキュレータ14を通過すれば良いので、2つのWDM光カップラ及び光アイソレータを通過する場合に比べて、損失が少ない。励起光の損失は光サーキュレータ14を2回、通過することによる損失のみであり、2つのWDM光カップラ及び光アイソレータを通過する場合に比べて、少なくなる。ファイバブラッググレーティング28により、ASE光を大幅に、実質的にはゼロに近いレベルまで低減できる。

【0028】

ファイバブラッググレーティング28は融着により光サーキュレータ14に接続可能である。従って、その交換は容易である。励起光の波長 $\lambda_p$ を変更する場合には、ファイバブラッググレーティング28を、新しい励起波長 $\lambda_p$ を反射するファイバブラッググレーティングに変更すれば良い。

【0029】

ファイバブラッググレーティング28の代わりに、同様に選択的な反射機能を有する反射器を使用できることは明らかである。

【0030】

図3は、本実施例による光増幅出力のスペクトル例である。微細な発振が抑制されていることが分かる。横軸は、波長を示し、縦軸は、光パワー(dBm)を示す。光サーキュレータ18のポートBとEDF16の接続点で測定した励起パワーは、175mWである。

【0031】

【発明の効果】

以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、高利得で発振しにくい光増幅器を実現できる。ラマン増幅の増幅帯域を調整することで、容易に、全体として広い増幅帯域を確保できる。信号光及び励起光の損失が少ないので、励起光パワーを有効に利用できる。即ち、同じトータルゲインであれば、励起光パワーを少なくでき、同じ励起光パワーであれば、トータルゲインを大きくすることができる。希土類ドープ光増幅ファイバからラマン増幅媒体へのASE光の伝搬を阻止するので、低雑音の光増幅器を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の概略構成図である。

【図2】発振を生じている光増幅出力のスペクトル例である。

【図3】本実施例の光増幅出力のスペクトル例である。

【符号の説明】

- 10：入力端子
- 12：伝送用光ファイバ
- 14：光サーキュレータ
- 16：エルビウムドープ光増幅ファイバ(EDF)
- 18：光サーキュレータ
- 20：出力端子
- 22, 24：レーザダイオード
- 26：光カップラ
- 28：ファイバブラッググレーティング

10

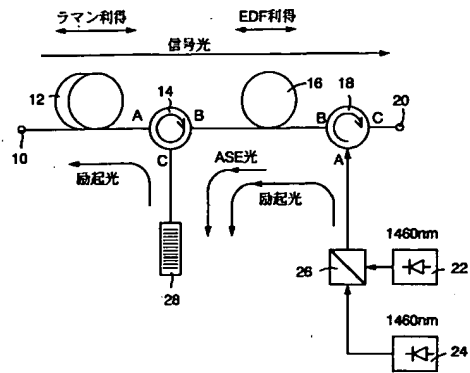
20

30

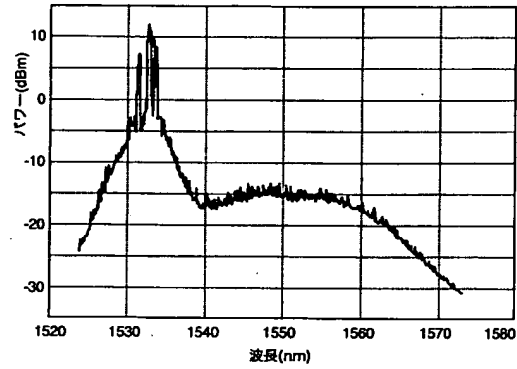
40

50

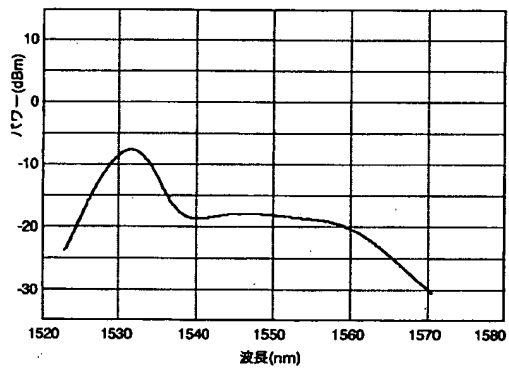
【図 1】



【図 2】



【図 3】





---

フロントページの続き

(72)発明者 多賀 秀徳

東京都新宿区西新宿三丁目7番1号ケイディディアイ海底ケーブルシステム株式会社内

(72)発明者 後藤 光司

東京都新宿区西新宿三丁目7番1号ケイディディアイ海底ケーブルシステム株式会社内

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA01 DA10 EA30 GA10 HA23

5F072 AB09 AK06 JJ04 JJ20 KK07 KK30 PP07 YY17